บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ข้อต่อ (joint) คือ ส่วนที่เชื่อมระหว่างกระดูกกับกระดูกหรือระหว่างกระดูกกับกระดูกอ่อนหรือระหว่างกระดูกอ่อนด้วยกันข้อต่อนี้เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า articulation ทำหน้าที่จำกัดและให้เกิดการเคลื่อนไหว ข้อต่อหัวไหล่ (shoulder joint) ประกอบด้วย กระดูกไหปลาร้า กระดูกสะบัก กระดูกหน้าอก และกระดูกต้นแขน ข้อต่อที่หัวไหล่นี้เป็นข้อต่อที่ไม่แข็งแรงมากนักอยู่ได้เพราะมีเอ็น (ligament) และกล้ามเนื้อ (muscle) ดังนั้นจึงมีอันตรายเกิดกับหัวไหล่บ่อยเช่น เคล็ดขัดยอก (sprain) กล้ามเนื้อฉีกอักเสบหรือตึง (strain) ข้อเคลื่อ (dislocation) ซึ่งสาเหตุที่ทำให้เกิดการบาดเจ็บเหล่านี้ส่วนมากเกิดจากการกระแทกหรือกระชากอย่างแรง เช่น การหกล้ม หรือ การขว้าง[11,15]

การขว้างเป็นทักษะหนึ่ง ที่แสดงถึงการใช้หัวไหล่ในการทำงานได้เด่นชัดที่สุด ซึ่งโครงสร้างของหัวไหล่ประกอบด้วยข้อต่อและกล้ามเนื้อดังต่อไปนี้[11,32]

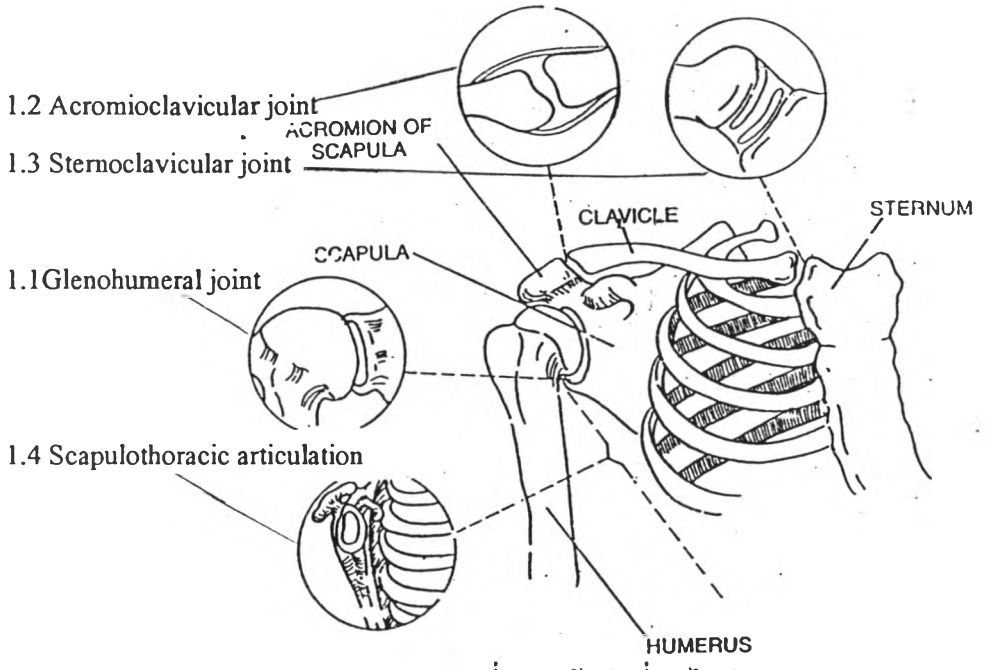
1. <u>ข้อต่อของหัวไหล่</u> ประกอบด้วยข้อต่อดังต่อไปนี้

1.1 ข้อต่อกลีโนฮีเมอรัล (glenohumeral) เป็นข้อต่อที่มีการเคลื่อนไหวได้มากที่สุดของข้อไหล่สามารถเคลื่อนได้ในท่ายก (elevation) ประมาณ 180 องศา ท่าหมุนไหล่เข้าข้างในและหมุนไหล่ออกข้างนอกได้ประมาณ 150 องศา รวมทั้งท่างอและเหยียดแขน (flexion and extension) ได้ถึง 170 องศา โดยมีความมั่นคงของข้อต่อจากเอ็น 4 เส้นได้แก่ เอ็นที่อยู่ด้านบน (superior) เอ็นที่อยู่ตรงกลาง (middle) เส้นเอ็นที่อยู่ด้านล่าง (inferior) และ เส้นเอ็น coracohumeral เป็นต้น

1.2 ข้อต่ออะโครมิโอคลาวิคูล่าร์ (acromioclavicular) เป็นข้อต่อที่อยู่ระหว่าง กระดูกอะโครเมี่ยน (acromion) กับกระดูกไหปลาร้า (clavicle) เคลื่อนที่ในท่าหมุน (rotation) ได้ 20 องศา และขณะมีการยกแขนได้ประมาณ 20 ถึง 40 องศา

1.3 ข้อต่อสเตอร์โนคลาวิคูล่าร์ (sternoclavicular) เป็นข้อต่อที่อยู่ระหว่างกระดูกหน้าอก (sternum) กับกระดูกไหปลาร้า (clavicle) เคลื่อนที่ขณะยกแขนขึ้นข้างบน (upward elevation) ได้ประมาณ 30 ถึง 35 องศา ไปด้านหน้าและหลังได้ 35 องศา และขณะมีการหมุนแขน ได้ 45 ถึง 50 องศา

1.4 ข้อต่อสแคปปูโลทอร์ราซิค อาร์ติคูเลชั่น (scapulothoracic articulaton) เป็นข้อต่อที่อยู่ระหว่างกระดูกสะบัก (scapular) กับกระดูกทรวงอกเคลื่อนที่ได้น้อยมาก (ดังรูปที่ 2.1)[11,32]



รูปที่ 2.1 ข้อต่อที่หัวไหล่

2. <u>กล้ามเนื้อของหัวไหล่</u> ที่ทำหน้าที่หลักในการหมุนหัวไหล่ คือกล้ามเนื้อกลุ่มโรเตเตอร์ (rotators cuff) ซึ่งประกอบด้วย กล้ามเนื้อดังต่อไปนี้

2.1 กล้ามเนื้อ supraspinatus ทำหน้าที่ยึดข้อไหล่ให้เกิดความแข็งแรง

2.2 กล้ามเนื้อ infraspinatus ทำหน้าที่หมุนแขนออกข้างนอกและยึดข้อไหล่ให้เกิดความแข็งแรง

2.3 กล้ามเนื้อ teres minor ทำหน้าที่หมุนแขนออกด้านนอกและยึดข้อไหล่ให้เกิดความแข็งแรง

2.4 กล้ามเนื้อ subscapularis ทำหน้าที่หมุนแขนเข้าด้านในและยึดข้อไหล่เพื่อให้เกิดความแข็งแรง

3. <u>การทำงานของกล้ามเนื้อร่วมกับกระดูก</u>

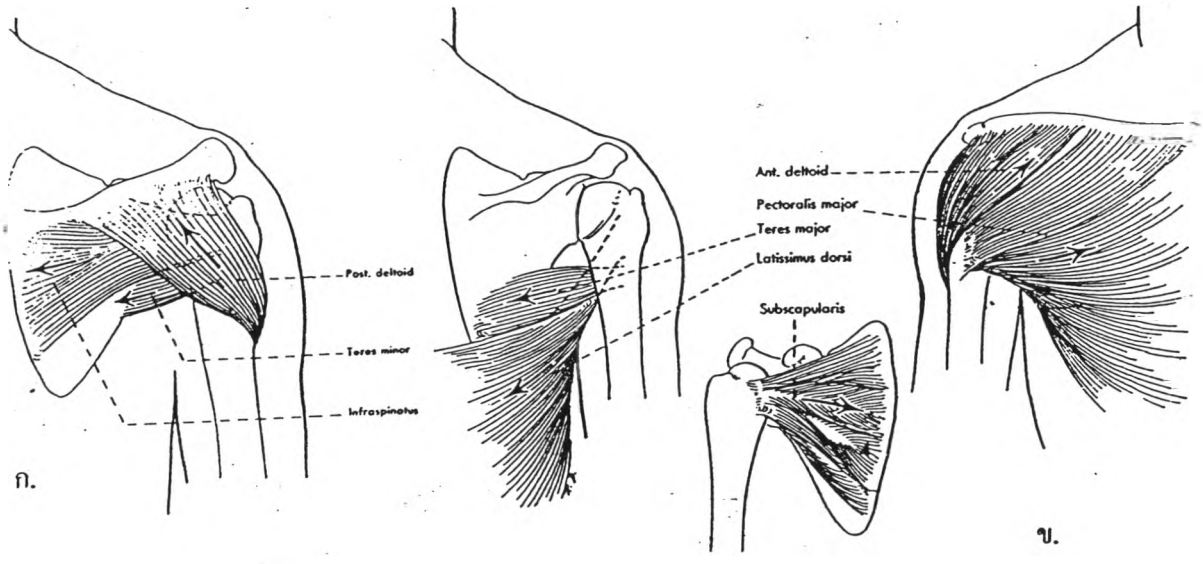
การหดตัวของกล้ามเนื้อเพียงอย่างเดียวไม่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวต้องอาศัยกระดูกซึ่งทำหน้าที่คล้ายคานดีดคานงัดทางกลศาสตร์มาร่วม คานงัดอย่างง่ายนั้นประกอบด้วยแท่งวัตถุแข็งซึ่งเคลื่อนอย่างอิสระบนจุดหมุน (fulcrum) โดยมีความต้านทานหรือน้ำหนักที่ต้องยกในปริมาณที่สมดุลย์กับแรงพยายาม ซึ่งในกรณีนี้คือแรงดึงจากกล้ามเนื้อและกระดูกจะทำหน้าที่เป็นคานงัดที่มีรูปทรงต่างๆ กัน ความต้านทานอาจเป็นส่วนของร่างกายที่ต้องการเคลื่อนไหวหรือวัตถุที่ต้องการยกหรือทั้งสองอย่างรวมกัน กล้ามเนื้อออกแรงพยายามบนกระดูกตรงที่มันเกาะและเกิดการเคลื่อนไหวที่จุดหมุน เช่น เมื่อยกแขนขึ้นน้ำหนักของต้นแขนจะเป็นความต้านทาน ข้อศอกเป็นจุดหมุนและแรงพยายามจากกล้ามเนื้อ[15]

<u>กล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่ในการหมุนไหล่ออกข้างนอก</u> (external rotation) ประกอบด้วย (ดังรูปที่ 2.1 ก.)[11,33]

1. กล้ามเนื้อ infraspinatus
2. กล้ามเนื้อ teres minor
3. กล้ามเนื้อ posterior deltoid

<u>กล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่ในการหมุนไหล่เข้าข้างใน</u> (internal rotation) ประกอบด้วย (ดังรูปที่ 2.1 ข.)[11,33]

1. กล้ามเนื้อ anterior deltoid
2. กล้ามเนื้อ pectoralis major
3. กล้ามเนื้อ teres major
4. กล้ามเนื้อ latissimus dorsi
5. กล้ามเนื้อ subscapularis



รูปที่ 2.2 กล้ามเนื้อและการหมุนของหัวไหล่
ก. กล้ามเนื้อที่ใช้หมุนไหล่ออกข้างนอก
ข. กล้ามเนื้อที่ใช้หมุนไหล่เข้าข้างใน

<u>กลไกในการขว้าง</u> (mechanism of throwing) ประกอบด้วยการทำงานเป็นระยะต่างๆ และใช้กล้ามเนื้อที่กล่าวมาข้างต้นซึ่งจะทำหน้าที่ในการขว้างดังต่อไปนี้[11,17]

1. ระยะเตรียม (stance phase) คือการยืนในท่าเตรียมพร้อม

2. ระยะ เริ่มเงื้อมือ (wind-up phase) ระยะนี้มีการทำงานของกล้ามเนื้อที่ข้อศอกและข้อมือพร้อมกับใช้กล้ามเนื้อที่ลำตัวในการบิดตัวออกด้านข้างแขนที่จะใช้ขว้าง

3. ระยะ เงื้อมือขว้าง (cocking phase) แบ่งเป็น 2 ระยะคือ

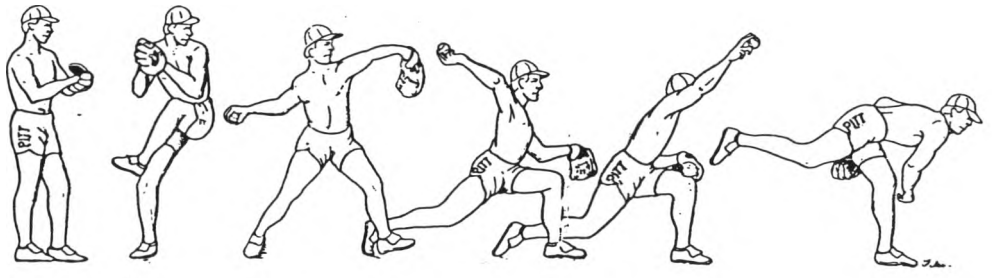
3.1 เงื้อมือขว้างช่วงแรก (early cocking)

3.2 เงื้อมือขว้างช่วงหลัง (late cocking)

กล้ามเนื้อที่ทำงานในระยะนี้ส่วนใหญ่จะเป็นกลุ่มหมุนไหล่ออกข้างนอก (external rotators) ซึ่งเป็นการทำงานแบบกล้ามเนื้อมีการหดสั้นเข้า(concentric)ได้แก่ กล้ามเนื้อ deltoid กล้ามเนื้อ biceps กล้ามเนื้อ supraspinatus กล้ามเนื้อ infraspinatus และกล้ามเนื้อ teres minor เป็นต้น

4. ระยะเร่งความเร็ว (acceleration phase) กล้ามเนื้อที่ทำงานในระยะนี้ส่วนใหญ่จะเป็นกล้ามเนื้อกลุ่มหมุนไหล่เข้าข้างใน (internal rotators) ซึ่งเป็นการทำงานแบบกล้ามเนื้อมีการยืดออก (eccentric) ได้แก่ กล้ามเนื้อ pectoralis major กล้ามเนื้อ latissimus dorsi และ กล้ามเนื้อ surratus anterior เป็นต้น

5. ระยะลดความเร็ว (deceleration) หรือ follow-through กล้ามเนื้อที่ทำงานในระยะนี้จะเป็นกลุ่มเดียวกับระยะ acceleration แต่ทำงานแบบหดสั้นเข้า (eccentric) มากกว่า ประกอบไปด้วยกล้ามเนื้อ infraspinatus กล้ามเนื้อ teres minor กล้ามเนื้อ supraspinatus และกล้ามเนื้อ deltoid ซึ่งจากการวิจัยพบว่า การทำงานของกล้ามเนื้อในระยะนี้มีการบาดเจ็บบ่อยมากเนื่องจากมีแรงกระชากหลังจากขว้างลูกบอลออกไป [11,32,33]



รูปที่ 2.3 ระยะการขว้างลูกบอล

<u>การฉีกขาดของเอ็นกล้ามเนื้อรอบข้อไหล่</u> (tear of rotator cuff muscle)โดยทั่วไปเอ็นกล้ามเนื้อดังกล่าวจะขาด เนื่องจาก[34]

1. การบาดเจ็บที่รุนแรง

2. การเล่นกีฬาที่ใช้ข้อไหล่มากๆโดยที่ผู้เล่นมีสมรรถภาพไม่พอ หรือไม่มีการทำงานประสานกัน (coordination) ของกล้ามเนื้อ หรือกล้ามเนื้อมีความเมื่อยล้า (fatique) การหดตัวอย่างรวดเร็วและแรงอาจทำให้เอ็นกล้ามเนื้อบาดเจ็บได้

<u>การป้องกันอันตรายบริเวณหัวไหล่</u> จึงเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับนักกีฬา ทำได้โดยวิธีมีดังนี้[35]

ก. สร้างความแข็งแรงให้กับกล้ามเนื้อบริเวณหัวไหล่ เช่น การยกน้ำหนัก

ข. เมื่อได้รับบาดเจ็บต้องหยุดการเคลื่อนไหว เพื่อรักษาส่วนที่บาดเจ็บ

<u>ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ</u> พอสรุปได้ดังนี้ [35-37]

1. การเรียงตัวของใยกล้ามเนื้อ จากการศึกษาเกี่ยวกับระบบกล้ามเนื้อ พบว่า กล้ามเนื้อที่มีเส้นใยเรียงตัวขนานไปกับความยาวของกล้ามเนื้อจะมีกำลังในการหดตัวหรือมีความแข็งแรงน้อยกว่ากล้ามเนื้อที่มีเส้นใยมีการเรียงตัวแบบขนนก

2. ความเมื่อยล้า กล้ามเนื้อที่ถูกใช้งานมากและนานจะก่อให้เกิดความเมื่อยล้า ซึ่งมีผลทำให้ความแข็งแรงลดลง

3. อุณหภูมิ การหดตัวของกล้ามเนื้อจะเร็วและรุนแรงที่สุดหากอุณหภูมิของกล้ามเนื้อสูงกว่าอุณหภูมิปกติของร่างกายเล็กน้อยแต่ถ้าอุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไปกลับจะเป็นผลเสียต่อประสิทธิภาพของกล้ามเนื้อ เพราะทำให้เอนไซม์ต่างๆไม่สามารถทำหน้าที่ได้อย่างปกติ ซึ่งความร้อนที่สูงเกินไปอาจถึงกับไปทำลายโปรตีนในกล้ามเนื้ออีกด้วย

4. ระดับของการฝึก กล้ามเนื้อทีได้รับการฝึกเป็นประจำย่อมมีกำลังในการหดตัวสูงกว่ากล้ามเนื้อที่ไม่ได้รับการฝึกแต่ทั้งนี้ต้องไม่ฝึกมากจนกระทั่งเกิดอาการที่เรียกว่า “ การซ้อมเกิน ” เพราะนอกจากจะมีผลเสียต่อประสิทธิภาพของกล้ามเนื้อแล้ว ยังมีผลให้เกิดความเบื่อหน่ายต่อการฝึกอีกด้วย

5. การพักผ่อน หากการออกกำลังกายดำเนินไปรวดเดียวเป็นเวลานานโดยไม่มีการหยุดพักจะทำให้กำลังในการหดตัวของกล้ามเนื้อค่อยๆลดลงเนื่องจากแหล่งพลังงานที่จำเป็นสำหรับการทำงานเริ่มลดลงในขณะที่ของเสียเริ่มมีมากขึ้นดังนั้นหากเราให้เวลาแก่ระบบไหลเวียนบ้างโดยการหยุดพักการออกกำลังกาย เพื่อจะได้มีเวลากำจัดของเสียออกจากกล้ามเนื้อ จะทำให้กำลังในการหดตัวของกล้ามเนื้อรักษาความแข็งแรงไปได้อีกนาน

6. อายุและเพศ โดยทั่วไปแล้วความแข็งแรงของกล้ามเนื้อจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 10-20 เปอร์เซ็นต์ของความแข็งแรงปกติ และความแข็งแรงสูงสุดจะอยู่ในช่วงอายุ 20-30 ปี ต่อจากนั้นความแข็งแรงจะค่อย ๆ ลดลง สำหรับความแข็งแรงที่ลดลงจะเกิดขึ้นกับกล้ามเนื้อที่ขาลำตัว เร็วกว่ากล้ามเนื้อที่แขน ความแข็งแรงสูงสุดของคนอายุ 65 ปีจะอยู่ราว 80 เปอร์เซ็นต์ของความแข็งแรงที่เขาเคยมีระหว่าอายุ 20-30 ปี

<u>ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ</u> มีความเกี่ยวข้องกับกำลัง (power) เนื่องจากกำลังเท่ากับแรงคูณด้วยความเร็ว ดังนั้นการเพิ่มความแข็งแรงจะทำให้กำลังเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากความแข็งแรงเป็นความสามารถทางร่างกายหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของร่างกายมิได้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการหดตัวของกล้ามเนื้อเท่านั้นแต่ความแข็งแรงเกิดจากการรวมตัวของปัจจัย 3 อย่างคือ[38]

1. แรงที่เกิดจากการหดตัวของกล้ามเนื้อหลายๆ มัดที่ทำให้เกิดความเคลื่อนไหวในกลุ่มเดียวกัน

2. ความสามารถของกล้ามเนื้อในกลุ่มเดียวกัน (agonists) ที่ประสานงานกับกล้ามเนื้อในกลุ่มตรงข้าม (antagonists)

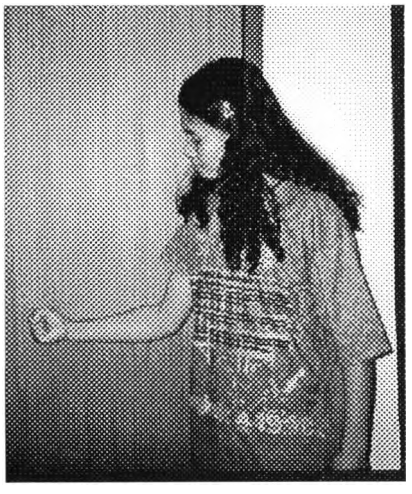
3. อัตราทางแมคคานิกส์ของการจัดระบบคาน (กระดูก) ที่เกี่ยวข้อง

ปัจจัยแรกสามารถทำให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้นได้โดยการฝึกที่เพิ่มความต้านทานขึ้นไปเรื่อยๆ (progressive resistance) ปัจจัยที่สอง ความแข็งแรงเพิ่มขึ้นโดยขึ้นอยู่กับความสามารถในการที่จะร่วมงานของกล้ามเนื้อแต่ละมัดแต่เพิ่มได้อย่างจำกัดโดยการฝึกฝนการเคลื่อนไหวบางชนิด ปัจจัยข้อที่สามขึ้นอยู่กับมุมในการดึงและความยาวของกล้ามเนื้อโดยเปรียบเทียบระหว่างแขนของความต้านทานกับแขนของความพยายามของระบบคานด้วย บางครั้งเราอาจเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนนี้ได้ โดยการเปลี่ยนตำแหน่งของร่างกายแต่ละส่วน ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อที่วัดได้จากการที่กล้ามเนื้อหดตัวโดยมีคานเป็นตัวส่งแรง แรงที่เกิดขึ้นอยู่กับคุณภาพและขนาดของเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ ความยาวของมัดกล้ามเนื้อในขณะที่กล้ามเนื้อหดตัว และความเร็วในการหดตัวของกล้ามเนื้อ คานและข้อต่อมีส่วนสำคัญมากในเรื่องของความแข็งแรง กล่าวคือ แรงในการหดตัวของกล้ามเนื้อจะมากที่สุดเมื่อข้อต่อยืดออกเป็นมุมกว้างเต็มที่และถูกดึงกลับอย่างสม่ำเสมอจนมัดกล้ามเนื้อหดสั้นลง ประสิทธิภาพของกล้ามเนื้อจะมีค่ามากที่สุดเมื่อข้อต่อยืดออกเป็นมุมประมาณ 90 องศากับคาน ถ้ามุมแคบกว่า 90 องศาประสิทธิภาพการทำงานจะลดน้อยลง

การทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้เริ่มต้นตั้งแต่ศตวรรษที่ 17 โดยนักมนุษยวิทยาของฝรั่งเศส ซึ่งได้ผลิตไดนาโมมิเตอร์ (dynamometer) สำหรับใช้วัดขึ้นเป็นครั้งแรกคือ นายซาร์ชองต์ (sargent) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อมัดใหญ่ๆ และของกล้ามเนื้อแต่ละส่วนซึ่งต่อมาการวัดสมรรถภาพของกล้ามเนื้อนั้นมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อประเมินสถานะการทำงานของกล้ามเนื้อของผู้ป่วย อธิบายโรคและความพิการที่เกิดขึ้นและช่วยเหลือในทางรักษา[2539,40] โดยการวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อมี 3 วิธี ดังต่อไปนี้

1. <u>การวัดโดยวิธีไอโซเมตริก</u> (isometric assessment)

การวัดความแข็งแรงแบบไอโซเมตริกนั้นศักยภาพสูงสุดของกล้ามเนื้อทำให้เกิดแรงอยู่กับที่ (static force) ซึ่งการวัดนั้นมีหลายวิธี เช่น เคเบิ้ล เทนซิโอมิเตอร์ (cable tensiometer) แฮนด์เฮลไดนาโมมิเตอร์ (hand-held dynamometer) เครื่องวัดแรงดึงหลัง (back-lift dynamometer) เครื่องวัดแรงบีบมือ (hand grip) และฟอร์ซ ทรานสดิวเซอร์ (force transducer) [25,27,38] ปัจจัยที่อาจมีผลกระทบต่อความแม่นยำในการวัดก็คือ ตำแหน่งของร่างกาย ถ้าวางถูกมุมข้อต่อนั้นสามารถทำให้เกิดแรงมากที่สุดได้และต้องถูกตำแหน่งในการยึดตรึงร่างกายของผู้ทดสอบเพราะเป็นส่วนที่ทำหน้าที่คล้ายเป็นจุดหมุน[23,25] แต่ข้อจำกัดของวิธีนี้ก็คือเป็นวิธีวัดความแข็งแรงอยู่กับที่ ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.2[25]



รูปที่ 2.2 การวัดกล้ามเนื้อโดยวิธีไอโซเมตริก(isometric muscle testing)

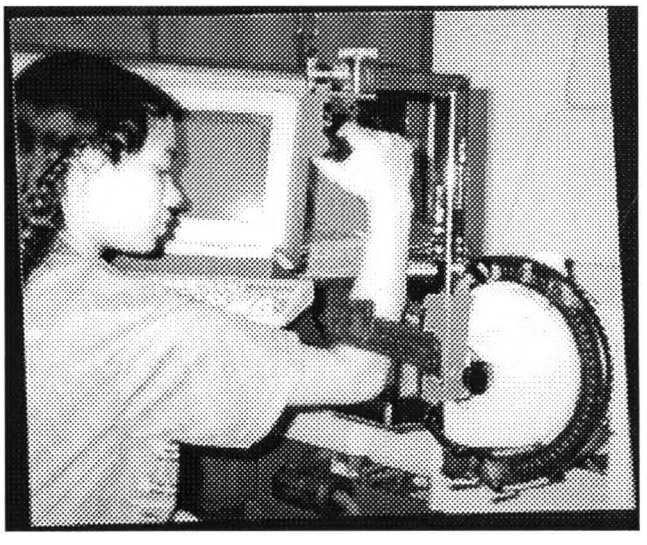
2. <u>การวัดโดยวิธีไอโซโทนิค</u> (isotonic assessment)

การวัดความแข็งแรงแบบไอโซโทนิคสามารถวัดขณะเคลื่อนที่ด้วยน้ำหนักของวัตถุ เช่น ฟรีเวตท์ (บาร์เบล ดัมเบล ถุงทราย) ระบบไฮโดรดริก (hydraulic system) และน้ำหนักที่เป็นสถานี (machine weight)[25,39,40] ความแข็งแรงจะวัดโดยการทดสอบประมาณน้ำหนักสูงสุดที่ผู้เข้าทดสอบสามารถยกได้ตลอดการเคลื่อนไหวสูงสุดของข้อต่อใน 1 ครั้ง (1RM) หรือ 10 ครั้ง (10 RM) ใน 1 เซ็ต ระหว่างออกกำลังแบบไอโซโทนิค (isotonic exercise) แรงต้านทานเกิดขึ้นโดยการเคลื่อนไหวเฉพาะส่วนของร่างกายหรือคานของร่างกายมุมที่ข้อต่อจะคงที่ตลอดพิสัยการเคลื่อนไหวของมุมที่ข้อต่อนั้นๆ อย่างไรก็ตามแรงต้านทานต่อกล้ามเนื้อจะแปรเปลี่ยนได้เนื่องจากผลกระทบของระบบคาน ข้อจำกัดของวิธีนี้ก็คือ ไม่สามารถควบคุมความเร็วในการทดสอบได้ อาจมีแรงจากกลุ่มกล้ามเนื้อส่วนอื่นเสริมและจำนวนน้ำหนักจำกัดต่อจุดอ่อนแอที่สุดในพิสัยการเคลื่อนไหว[39,40] ดังแสดงในรูปที่ 2.3

รูปที่ 2.3 การวัดกล้ามเนื้อโดยวิธีไอโซโทนิค (isotonic muscle testing)

3. <u>การวัดโดยวิธีไอโซไคเนติค</u> (isokinetic assessment)

ความรู้หรือข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับแนวความคิดของวิธีนี้เริ่มขึ้นในปี ค.ศ.1967 ซึ่งต่อมาถูกใช้อย่างกว้างขวางทั้งในทางคลินิกและงานวิจัยเรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน โดยเริ่มเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินความแข็งแรงและฟื้นฟูการบาดเจ็บ เพราะมีข้อดีหลายอย่างเมื่อเทียบกับการวัดด้วยวิธีอื่นๆ[16,25,27-28,39] เครื่องไอโซไคเนติค ไดนาโมมิเตอร์สามารถกำหนดความเร็วกับแรงต้านทานที่หลากหลายเพื่อให้เกิดความสะดวกต่อความสามารถของแต่ละคนให้ออกแรงได้ตลอดพิสัยการเคลื่อนไหว[25] ความเร็วของการวัดด้วยวิธีไอโซไคเนติคจะคงที่เมื่อเริ่มกำหนดองศาความเร็วขณะที่แรงต้านจะแปรตามแรงที่ออกกำลังในทุกจุดของพิสัยการเคลื่อนไหว[26] เมื่อแต่ละส่วนของร่างกายออกแรงช่วงความเร็วเริ่มต้นที่ตั้งไว้และพยายามให้เกิดความเร่งเครื่องจักรจะกำหนดแรงต้านให้พอเหมาะ ดังนั้นแขนขาก็จะเคลื่อนที่ ณ ความเร็วภายในคงที่ [25,26,43] แรงที่เกิดโดยกล้ามเนื้อจะแปรผ่านข้อต่อตลอดพิสัยเคลื่อนไหว เพราะว่ามีการเปลี่ยนแปลงในชีวกลศาสตร์คานของกระดูกและกล้ามเนื้อ ณ พิสัยการเคลื่อนไหวสูงสุด ขณะที่กล้ามเนื้ออยู่ในภาวะที่เสียเปรียบด้านสรีระและด้านกลไก แรงจะลดลงและเกิดแรงด้านทานในที่สุด ในทางกลับกัน ณ ช่วงกลางของพิสัยการเคลื่อนไหวขณะที่กล้ามเนื้อมีความตึงตัวยาวพอเหมาะจะเกิดความสัมพันธ์ในใยกล้ามเนื้อ โดยจะมีการเชื่อมแอคติน (actin) และไมโอซิน(myosin) เข้าด้วยกันและนี้คือกลไกที่ได้เปรียบอย่างมากมายแรงจำนวนมากจะเกิดขึ้นส่วนแรงต้านทานจะเพิ่มขึ้นในสัดส่วนที่พอเหมาะพอดีระหว่างกล้ามเนื้อกับน้ำหนักจากเครื่องไอโซไคเนติค ไดนาโมมิเตอร์ซึ่งเป็นแรงต้านที่เหมาะสมกับแรงจากภายนอกที่คานของร่างกาย ดังนั้นกล้ามเนื้อจึงสามารถคงการหดตัวที่เต็มที่ได้ในทุกๆองศาความเร็วตลอดพิสัยการเคลื่อนไหวทั้งหมด[22,25] ดังแสดงในรูปที่ 2.4 [26]



รูปที่ 2.4 วิธีการวัดแบบไอโซไคเนติค(isokinetic muscle testing)

การเปรียบเทียบวิธีการวัดความแข็งแรงระหว่างไอโซเมตริก ไอโซโทนิค และไอโซไคเนติค[25,26]

1. วิธีไอโซเมตริก

ข้อดี

1.1 ใช้ประโยชน์เมื่อข้อต่อไม่มีการเคลื่อนไหว

1.2 เมื่อไม่ต้องมีหรือใช้อุปกรณ์และเครื่องมือมาก

1.3 สามารถทำได้ในทุก ๆ สถานที่และใช้ระยะเวลาสั้น ๆ

ข้อเสีย

1.1 ความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเฉพาะมุมที่ออกแรง

1.2 ไม่มีการหดตัวแบบเอคเซนตริค (eccentric)

1.3 มีแรงกดที่ข้อต่อระหว่างมีการหดตัวเต็มที่

2. วิธีไอโซโทนิค

ข้อดี

2.1 ประกอบด้วยแรงด้านทานการหดตัวแบบคอนเซนทริค (concentric) และเอคเซนทริค (eccentric)

2.2 เกิดแรงจูงใจ โดยการพยายามยกน้ำหนักให้เพิ่มขึ้น

2.3 สามารถทำได้ง่าย

ข้อเสีย

2.1 ปริมาณของแรงต้านทานจำกัดต่อจุดอ่อนแอที่สุดในพิสัยการเคลื่อนไหว

2.2 ไม่สามารถวัดหาปริมาณทอร์ก งาน และกำลังได้

2.3 กล้ามเนื้อที่แข็งแรงอาจช่วยกลุ่มกล้ามเนื้อที่อ่อนแรงระหว่างออกกำลัง

2.4 รูปแบบของอุปกรณ์และเครื่องมือไม่มีสำหรับการวัดบางจุดของร่างกาย

2.5 ไม่สามารถแปรแรงด้านทานตามแรงจากร่างกายที่มีการเปลี่ยนแปลงได้

3. ไอโซไคเนติค

ข้อดี

3.1 สามารถแยกทำในกลุ่มกล้ามเนื้อที่อ่อนแรงได้

3.2 แรงด้านทานที่พอเหมาะทำให้เกิดการทำงานอย่างเต็มที่ต่อน้ำหนักตลอดพิสัยการเคลื่อนไหว

3.3 แรงด้านที่เหมาะสมทำให้เกิดกลไกความปลอดภัยภายในผู้ทดสอบ

3.4 บอกค่าปริมาณของทอร์ก งาน และกำลังได้

3.5 ลดแรงกดในข้อต่อ ณ ความเร็วสูงได้

ข้อเสีย

3.1 จำกัดต่อการวัดกลุ่มกล้ามเนื้อผ่านระนาบหน้า-หลังของการเคลื่อนไหว

3.2 ยุ่งยากต่อการติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์

3.3 เครื่องมือราคาแพง

<u>การวิจัยภายในประเทศ</u>

ธันยพร หมั่นดี[43] ได้ศึกษาวิจัยการหาค่าความเชื่อถือได้ของการทดสอบซ้ำในการวัดกำลังกล้ามเนื้อขณะทำงานโดยใยกล้ามเนื้อมีการหดสั้นด้วยวิธีไอโซไคเนติคของกล้ามเนื้อขาทั้ง 2 ข้าง โดยทำการวัดกำลังกล้ามเนื้องอและเหยียดข้อตะโพกที่อัตราความเร็ว 60 และ 180 องศาต่อวินาที กล้ามเนื้องอและเหยียดข้อเข่าที่อัตราความเร็ว 60 และ 240 องศาต่อวินาที พารามิเตอร์ที่ใช้ศึกษาคือ peak torque (PT) total work (TW) average power (AP) และ torque acceleration energy (TAE) ด้วยเครื่องไอโซไคเนติค ไดนาโมมิเตอร์ cybex 6000 ข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์โดยใช้ intraclass correlation coefficients (ICCs) ผลที่ได้แสดงว่า 1) ค่า ICCs ที่ได้ทั้งหมดจากข้อเท้า มีประมาณ 72 เปอร์เซ็นต์ ที่ได้ทั้งหมดจากข้อเข่ามี 51 เปอร์เซ็นต์ และ ค่า ICCs ที่ได้ทั้งหมดจากข้อตะโพกมี33 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าความเชื่อถือได้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ (ICCs > 0.75) 2) ค่า ICCs ในขณะเหยียดข้อเข่ามีแนวโน้มสูงกว่าขณะงอข้อเข่าและขณะกระดกข้อเท้าขึ้นมีแนวโน้มสูงกว่าขณะเหยียดข้อเท้าลง ขาขวามีแนวโน้มสูงกว่าขาซ้าย และที่ความเร็วสูงมีแนวโน้มสูงกว่าที่ความเร็วต่ำ 3) ความเชื่อถือได้ของการวัด peak torque มีค่าสูงกว่าความเชื่อถือได้ของการวัด total work , average power และ torque acceleration energy

ธเนตร กุลเทศ [30] ได้ทำการศึกษาวิจัยเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วเชิงมุมของลูกบอลมุมของข้อไหล่และข้อมือขณะปล่อยลูกบอล ความเร็วของลูกบอลและความแม่นยำในการโยนลูกบอลรวมทั้งหาตัวแปรที่สำคัญต่อการโยนลูกบอลแบบควงแขนในกีฬาซอฟท์บอลนำข้อมูลไปวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณแบบเพิ่มตัวแปรเป็นขั้นๆ ทดสอบความมีนัยสำคัญ ด้วยค่า “ที” และค่า “เอฟ”

ผลการวิจัยพบว่า

1. ความเร็วของลูกบอลมีความสัมพันธ์กับทุกตัวแปร ส่วนความแม่นยำในการโยนลูกไม่มีความสัมพันธ์กับมุมของข้อมือ แต่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่นที่เหลือ

2. อัตราเร็วเชิงมุมของลูกบอล มุมของข้อไหล่และข้อมือสามารถทำนายความเร็วของลูกบอลและความแม่นยำในการโยนลูกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ.05(R= .9355) และ(R = .5370) ตามลำดับ

การวิจัยในต่างประเทศ

Roetert และ คณะ[12] ได้พบว่านักเทนนิสที่มีฝีมือดีมีอุบัติการเกิดการบาดเจ็บที่ส่วนหลัง จึงสนใจที่จะศึกษาซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเป็นข้อมูลระดับความแข็งแรงของลำตัวขณะเหยียดและขณะก้มตัว โดยทำการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงของลำตัวกับการทดสอบสมรรถภาพที่สนามกีฬาในนักเทนนิสเยาวชนที่มีฝีมือดีอายุระหว่าง 13-17 ปี โดยทดสอบท่าลำตัวขณะก้มและเหยียดในเครื่องไอโซไคเนติค ไดนาโมมิเตอร์ (cybex 6000) ที่อัตราความเร็ว 60 และ 120 องศาต่อวินาที ซึ่งใช้อัตราส่วนค่าแรงบิดสูงสุดต่อน้ำหนักร่างกายและงานต่อน้ำหนักร่างกาย ในการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงของลำตัวต่อการทดสอบที่สนามกีฬา ระดับอัตราส่วนของไอโซไคเนติคขณะก้มตัวต่อขณะเหยียดตัวมีค่าอัตราส่วนที่พิสัยระหว่าง 102 ถึง 112 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการทดสอบสมรรถภาพที่สนามกีฬาโดยการวัด ความแข็งแรง พลังความเร็ว ความคล่องตัว ความทนทานและความอ่อนตัว การวัดความสัมพันธ์ถูกรวมถึงระยะทางทั้งหมดของการขว้างในท่าหน้ามือ หลังมือ เหนือศีรษะและขว้างเหนือศีรษะด้านตรงข้าม การวิเคราะห์มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญที่พิสัย (0.47 - 0.82) ระหว่างความแข็งแรงของลำตัวขณะก้มตัวต่อขณะเหยียดลำตัวกับท่าขว้างลูกบอล 4 ท่าที่ทดสอบในสนาม ผลที่ได้คือมีความสัมพันธ์ระหว่างการทดสอบสมรรถภาพและท่าขว้างทั้ง 4 ท่า ต่อ สรุปการวิจัยความแข็งแรงของลำตัวพร้อมทั้งได้ค่าใหม่ของความแข็งแรงของ ลำตัวขณะก้ม และ ขณะเหยียด ในนักเทนนิสเยาวชนที่มีฝีมือดี

Ellenberker และ Mattalino[44] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการวัดวิธีไอโซไคเนติคแบบกล้ามเนื้อหดสั้น ของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหัวไหล่ในท่าหมุนเข้าข้างในและหมุนออกข้างนอกที่ข้อต่อกลีโนฮิเมอรอล แขนกาง 90 องศา ทดสอบที่แขนทั้งสองข้างบนเครื่องไอโซไคเนติค ไดนาโมมิเตอร์ (cybex 300) ที่อัตราความเร็ว 210 และ 300 องศาต่อวินาที ผลที่ได้คือ ไม่มีความแตกต่างระหว่างหัวไหล่ข้างที่ใช้ขว้างกับไหล่ข้างที่ไม่ได้ขว้างอย่างมีนัยสำคัญในท่าหมุนเข้าข้างในและหมุนออกข้างนอก แต่ในท่าหมุนเข้าข้างในกลับมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างมากในไหล่ที่ใช้ขว้าง ซึ่งข้อมูลที่ได้นั้นมีความสำคัญทั้งในด้านการฟื้นฟูและป้องกันการบาดเจ็บที่หัวไหล่

Richard Y. Hinton[45] ได้ศึกษาวิจัยเรื่องการวัดความแข็งแรงแบบไอโซไคเนติคของข้อไหล่ขณะหมุนในนักกีฬาเบสบอลตำแหน่งผู้ส่งลูกเข้าเล่นและตำแหน่งอื่นในสนาม ทำการทดสอบโดยใช้เครื่องไอโซไคเนติค ไดนาโมมิเตอร์ วัดในไหล่ที่ใช้ขว้างกับไหล่ไม่ได้ขว้าง ทดสอบในท่านอน แขนกางออก 90 องศา และทดสอบในท่ายืนที่ความเร็ว 90 และ 240 องศา ต่อวินาที ได้ผลสรุปการวิจัยว่า ค่า peak torque และ total work ในไหล่ที่ใช้ขว้างนั้น กล้ามเนื้อที่ทำ internal rotation สูงกว่าในไหล่ที่ไม่ได้ขว้างอย่างมีนัยสำคัญในทุกความเร็วของการทดสอบ ส่วน peak torque ratios และ total work ระหว่าง external ต่อ internal rotation มีค่าต่ำอย่างมีนัยสำคัญในไหล่ที่ใช้ส่งลูก ซึ่งผู้วิจัยมีความสงสัยว่าอาจเกี่ยวข้องกับกล้ามเนื้อกลุ่มโรเตเตอร์ที่บาดเจ็บทำให้เกิดความไม่สมดุลย์และขาดความแข็งแรง เมื่อเทียบกับไหล่ที่ได้ขว้าง

Lyndon R. Bartlett และคณะ[46] ได้ศึกษาวิจัยว่า มีความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดที่เกิดจากกล้ามเนื้อของส่วนบนของร่างกายกับความเร็วในการขว้างหรือไม่ โดยศึกษาในนักกีฬาเบสบอลอาชีพ ซึ่งใช้ในการทดสอบโดยเครื่องไอโซไคเนติคที่ข้อไหล่ ข้อศอก และ ข้อมือ โดยทดสอบทุกท่าของแต่ละข้อต่อนั้นๆ เก็บข้อมูลโดยบันทึกค่าแรงบิดสูงสุดของแต่ละท่าไว้ จากนั้นก็แยกทดสอบความเร็วของการขว้างลูกบอลสำหรับผู้ทดสอบแต่ละคน โดยใช้ปืนเรดาร์ในการวัดความเร็วที่ระยะทางการขว้าง ใช้บริเวณสนามหญ้ายาว 60 ฟุต จากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธี person correlation coefficient ได้ผลสรุปการวิจัยว่า มีความสัมพันธ์อย่างสูงระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดของ shoulder adductor กับ throwing speed อย่างมีนัยสำคัญ